



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## بررسی تجربی وابستگی بیناب فلئورسانس القائی لیزری کومارین ۴ به طول موج برانگیزش در حلال‌های مختلف

مژگان فلاحتی<sup>۱</sup>، علی بوالی<sup>۱</sup>، پرویز پروین<sup>۱</sup>، عباس مجد آبادی<sup>۲</sup> و سروش مهرداد<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی هسته ای و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> مرکز پژوهش‌های لیزر، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

چکیده - در این پژوهش با استفاده از فلئورسانس القایی لیزری، تأثیر طول موج برانگیزش بر طیف فلئورسانس کومارین ۴ در سه نوع حلال مختلف بررسی شده است. برانگیزش با هماهنگی سوم لیزر  $ND:YAG$  در طول موج ۳۵۵ نانومتر و لیزر دیودی بنفش در طول موج ۴۰۵ نانومتر انجام شده است. نتایج حاکی از آن است که شکل طیف فلئورسانس رنگینه‌ی لیزری کومارین ۴ (۷-هیدروکسی-۴-متیل کومارین) بر خلاف بسیاری از رنگدانه‌ها به شدت به طول موج منبع دمش وابسته می‌باشد. علاوه بر این، در طول موج ۳۵۵ نانومتر، تغییر حلال نیز کاملاً شکل طیف فلئورسانس را تغییر می‌دهد. این تغییرات را می‌توان به ساختار شیمیایی ویژه کومارین ۴ نسبت داد. کلید واژه- فلئورسانس القائی لیزری، رنگدانه کومارین ۴، طول موج برانگیزش.

## Dependence of Coumarin 4 LIF spectrum on excitation wavelength in different solvents

M. Falahati<sup>1</sup>, A. Bavali<sup>1</sup>, P. Parvin<sup>1,\*</sup>, A. Majdabadi<sup>2</sup>, S. Mehrdadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Physics Department, Amirkabir university of technology: P.O. Box 15875-4413, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Laser research center, Atomic Energy Organization, Tehran, Iran

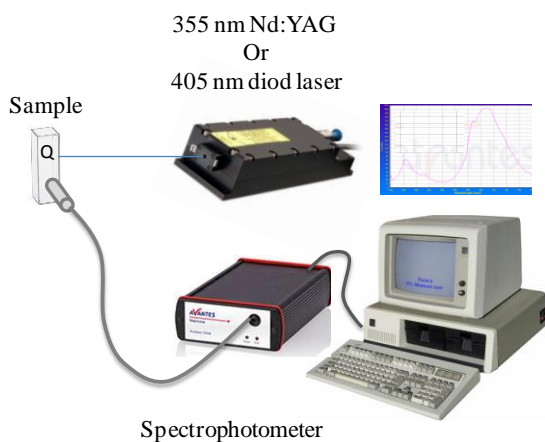
Abstract- In this study, using laser induced fluorescence spectroscopy, effect of excitation wavelength on the fluorescence spectra of coumarin 4 in three different solvents has been studied. Excitation was done using third harmonic of Nd: YAG laser at 355 nm and 405 nm blue diode. Our results indicate that the fluorescence spectra of coumarin dye laser (7 - hydroxy - 4 - methyl coumarin), unlike many of the dyes, is strongly dependent on the pump wavelength. Moreover, at a wavelength of 355 nm, the fluorescence shape of the solution will change as well. We attribute these results to specific chemical structure of the coumarin 4 solution.

## ۱- مقدمه

برانگیزش منجر به تغییر شدت فلئورسانس می شود اما شکل طیف فلئورسانس تغییری نمی کند؛ به گونه ای که تابش طول موج بیشینه منحنی جذب محلول رنگدانه، بیشترین شدت فلئورسانس القائی لیزری را به همراه دارد. اما در مواردی که مولکولهای پیچیده در حلال تشکیل کمپلکس می دهند، حالت پایه شامل چند گونه ی شیمیایی در حال تعادل است که هر کدام خط جذب متفاوتی دارند [۴]. یکی از ساده ترین حالت‌های این وضعیت، تشکیل دیمرها و تریمرها در غلظت‌های بالای محلول رنگدانه است که منجر به تغییر شکل طیف می شود [۵].

## ۳- آزمایشها و نتایج

طیف گسیل فلئورسانس محلول کومارین 4 ( $C_{10}H_8O_3$ ) با خلوص 97% ( $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ ) در اتانول ( $C_2H_5OH$ )، ۲- پروپانول ( $C_3H_8O$ ) و آب مقطر (deionized (DI) water) در غلظت‌های مختلف 0.005 تا 10 میلی مولار بررسی شد. به منظور برانگیختگی مولکول‌های کومارین 4 از هماهنگ سوم لیزر پیوسته-کار Nd:YAG با طول موج ۳۵۵ نانومتر و توان میانگین ۶ میلی وات و لیزر دیودی در خط ۴۰۵ نانومتر با توان ۱۰۰ میلی وات استفاده شده است. نمونه مورد مطالعه، در سلول مکعبی (cuvette) از جنس شیشه به ابعاد  $1 \times 1 \times 4/5$  سانتی متر ریخته شد. به منظور ثبت طیف فلئورسانس، از طیف سنج Ava-spec 2048 مجهز به توری پراش با قدرت تفکیک  $0/4$  نانومتر استفاده شد. شکل (۱) طرحواره آزمایش را نشان می دهد.



شکل ۱: آرایه آزمایش طیفسنجی فلئورسانس القائی لیزری محلول کومارین 4 با طول موجهای ۳۵۵ و ۴۰۵

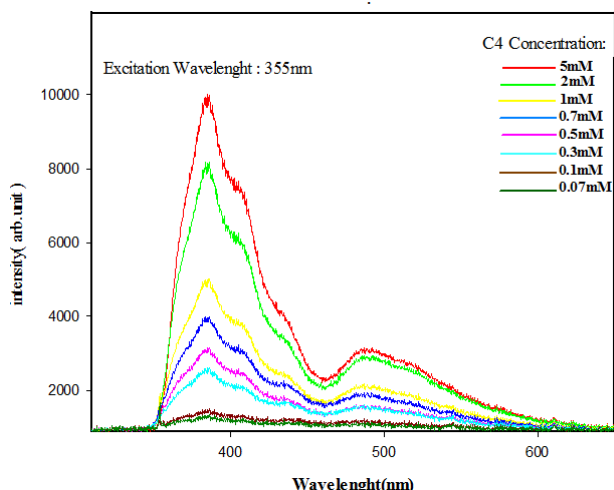
رنگدانه کومارین از دسته رنگدانه‌های بنزوپیرون (*benzopyrones*) می باشد که بطور طبیعی در برخی گیاهان و روغنهای نباتی موجود است و مشتقات آن کاربرد های متنوعی در صنایع عطرسازی، تهیه روغن طبیعی، الکتروپلیتینگ، لیزر، و پزشکی دارند [۱]. از میان مشتقات فراوان کومارین، سه گروه 3,4-dihydroxycoumarin (در صنایع عطرسازی)، 6-methylcoumarin (بهبود دهنده طعم در صنایع غذایی) و 7-hydroxycoumarin (در ساخت کرمهای ضد آفتاب و لیزرهای رزینه ای) اهمیت اقتصادی بیشتری دارند. کومارین ۴ از مشتقات غیر سمی گروه سوم با عنوان شیمیایی 7-hydroxy-4-methylcoumarin می باشد که به عنوان محیط فعال نوری، کاربرد قابل توجهی در لیزرهای رزینه ای یافته [۲] اخیراً پژوهشگران به خاصیت ضد تومور آن برای درمان سرطان توجه نموده اند [۳]. به این ترتیب آگاهی از خواص شیمیایی، نوری و زیست-شیمی این رنگدانه در بهینه سازی کاربردهای آن ضروریست.

از مهمترین ویژگیهای نوری رنگدانه ها، طیفهای جذب و فلئورسانس آنهاست. وابستگی طیفهای جذب و گسیل رنگدانه ها به نوع حلال، PH، ناخالصیها و غلظت محلول رنگدانه ها در شرایط ترمودینامیکی مختلف موضوع پژوهشهای متعددی بوده است. در این میان، وابستگی طیف فلئورسانس به طول موج منبع برانگیزش، در فلئورسانس القائی لیزری و لیزرهای رزینه ای اهمیت بسیاری دارد.

در این پژوهش، وابستگی شکل تابش فلئورسانس القائی لیزری به طول موج لیزر، با استفاده از دو خط لیزری ۴۰۵ نانومتر و ۳۵۵ نانومتر در حلالهای مختلف آب، الکل و ۲- پروپانول تحقیق شده است. آزمایشها نشان می دهد شکل فلئورسانس کومارین برای طول موج ۳۵۵ نانومتر با مورد ۴۰۵ نانومتر متفاوت بوده و خود نیز در حلالهای مختلف تغییر قابل توجهی دارد.

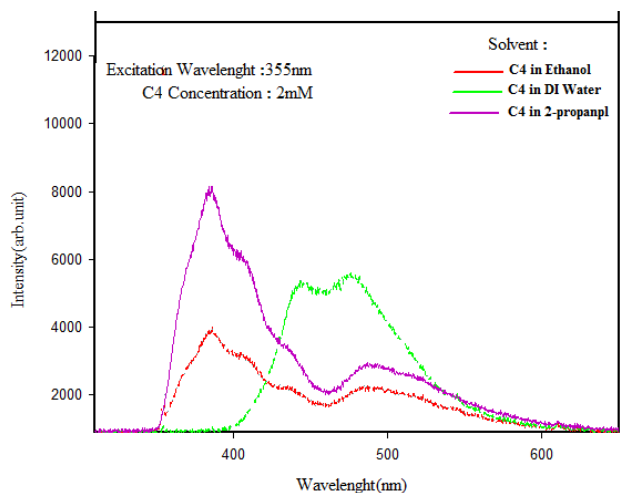
## ۲- تئوری

در فلئورسانس القایی لیزری، معمولاً تغییر طول موج



شکل ۴: طیف فلئورسانس کومارین در حلال ۲- پروپانول با غلظتهای متفاوت (۰/۰۷ تا ۵ میلی مولار). نمونه ها با طول موج ۳۵۵ نانومتر تابش دهی شدند

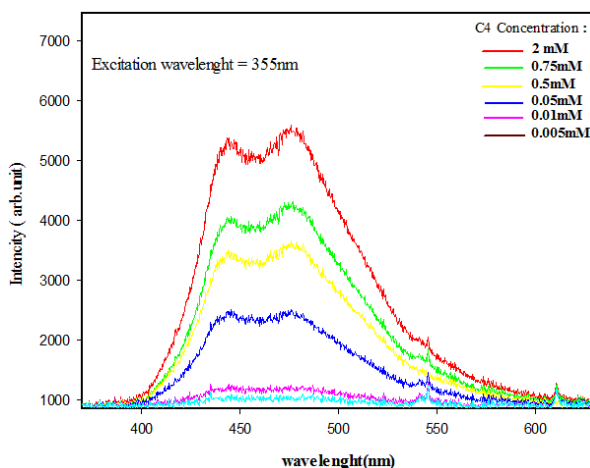
شکل ۵ طیف فلئورسانس محلول کومارین با غلظت ۲ میلی مولار در سه حلال را نشان می دهد. محلول با طول موج ۳۵۵ نانومتر لیزر نئودیمیوم یاگ (هماهنگ سوم) تابش دهی شد. ملاحظه می شود که شکل طیف در حلال آب DI کاملاً با دو حلال دیگر متفاوت است.



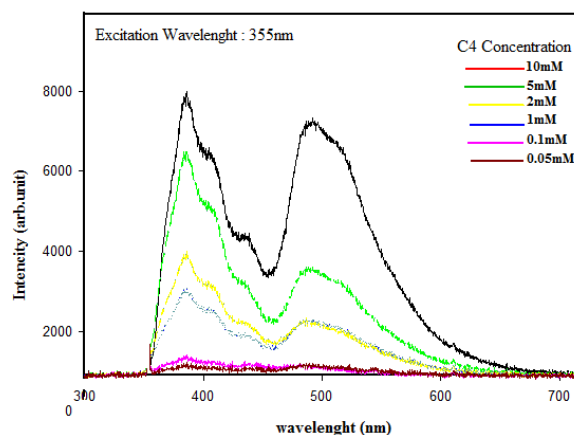
شکل ۵: طیف فلئورسانس کومارین در سه حلال اتانول، آب DI و ۲- پروپانول. نمونه ها با طول موج ۳۵۵ نانومتر تابش دهی شدند

شکل ۶ طیف فلئورسانس محلول کومارین در سه حلال اتانول، ۲- پروپانول و آب DI را وقتی با طول موج ۴۰۵ نانومتر لیزر دیودی تحریک شده نشان می دهد. ملاحظه می شود که شکل طیف در حلال آب DI کاملاً با دو

شکلهای ۲ تا ۴ منحنیهای طیف فلئورسانس القائی لیزری محلول کومارین را در سه حلال اتانول، ۲- پروپانول و آب DI را وقتی با هماهنگ سوم لیزر نئودیمیوم یاگ (طول موج ۳۵۵ نانومتر) تابش داده می شوند نشان می دهد. در هر مورد، تغییر غلظت رنگدانه تنها شدت طیف را تغییر می دهد و شکل کلی طیفها بدون تغییر باقی می ماند.



شکل ۲: طیف فلئورسانس کومارین در حلال آب DI با غلظتهای متفاوت (۰/۰۵ تا ۲ میلی مولار). نمونه ها با طول موج ۳۵۵ نانومتر تابش دهی شدند



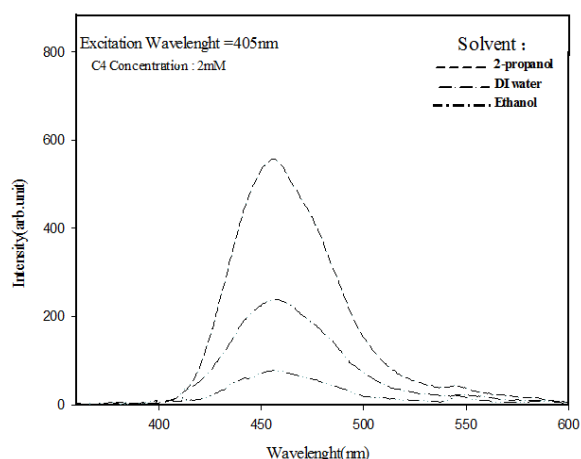
شکل ۳: طیف فلئورسانس کومارین در حلال اتانول با غلظتهای متفاوت (۰/۰۵ تا ۱۰ میلی مولار). نمونه ها با طول موج ۳۵۵ نانومتر تابش دهی شدند

حلال دیگر متفاوت است.

به این ترتیب با استفاده از آزمایش فلوروسانس القائی لیزری با دو طول موج برانگیزش، اطلاعات شیمیایی از ساختار شیمیایی کومارین ۴ قابل بررسی است. شایان ذکر است این تحلیل در کاربردهای بیو فوتونیک رنگدانه‌ی کومارین ۴ مانند تشخیص و درمان سرطان اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.

## مراجع

- [1] D. Egan, R. O'Kennedy, E. Mow, D. Cox, E. Prosser and R. Douglas Thornes, "The pharmacology metabolism analysis and applications of Coumarin and Coumarin-related compounds", Drug Metabolism Reviews. 22(5). 503-529 (1990)
- [2] C. V. Shank, A. Dienes, A. M. Trozzolo, and J. A. Myer, *Appl. Phys. Letters*, 1970, 16, 405.
- [3] Aoife Lacy and Richard O'Kennedy, "Studies on Coumarins and Coumarin-Related Compounds to Determine their Therapeutic Role in the Treatment of Cancer", *Current Pharmaceutical Design*, 10, 3797-3811 (2004)
- [4] Masato nakashima, richard c. Clapp & john a. Sousa, "Concerning the Fluorescence of Some 7 Hydroxycoumarins and Related Compounds", *nature physical science* 245, 124-126 (22 October 1973).
- [5] A. Penzkofer and W. Leupacher, "Fluorescence behavior of highly concentrated Rhodamine 6G solutions," *J. Lumin.* 37, 61-72 (1987).
- [6] M.S.A. Abdel-Mottaleb, B.A. El-Sayed, M.M. Abo-Aly, M.Y. El-Kady *Fluorescence-properties and excited state interactions of 7-hydroxy-4-methylcoumarin laser dye* *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Volume 46, Issue 3, March 1989, Pages 379-390.



شکل ۶: طیف فلوروسانس کومارین در سه حلال اتانول، آب DI و ۲-پروپانول. نمونه‌ها با طول موج ۴۰۵ نانومتر تابش دهی شدند.

همانطور که ملاحظه می‌شود، تغییر نوع حلال شکل طیف را تغییر نمی‌دهد.

## ۴- تحلیل و نتیجه گیری

با توجه به شکل‌های ۲ تا ۴، برخلاف سایر رنگینه‌ها، در طیف فلوروسانس رنگینه‌ی کومارین ۴، دو طول موج گسیل مشاهده می‌شود: ۳۸۵/۸۱۲ نانومتر و ۴۸۹/۸۳۹ نانومتر. دلیل این وابستگی شکل طیف گسیل به منبع دمش، این است که در طول موج زیر ۳۷۰ نانومتر دو ترکیب آنیونی و خنثی این مولکول برانگیخته می‌شوند. این دو ترکیب، طی یک نوآرایی توتومری بصورت برگشت‌پذیری در حال تبدیل به یکدیگر هستند، بطوریکه هریک در این محدوده‌ی طول موجی، گسیل نشان می‌دهند [۵]. مقایسه دو شکل ۵ و ۶ نشان می‌دهد که با تغییر طول موج برانگیزش، نه تنها شکل طیف به طور کلی تغییر می‌کند، بلکه در خط برانگیزش ۳۵۵ نانومتر، برخلاف طول موج ۴۰۵ نانومتر، شکل طیف به نوع حلال نیز بستگی دارد. در مورد نخست، نشان داده شده است که کومارین در حالت پایه شامل یک کمپلکس (توتومر) می‌باشد که این دو کمپلکس شکاف باندهای متفاوتی دارند [۶]. از طرفی تنها یکی از این گونه‌های تشکیل دهنده‌ی کمپلکس تنها زیر ۳۷۰ نانومتر جذب دارد. این گونه با تغییر نوع حلال از لحاظ شیمیایی تغییر می‌کند [۶] و به همین دلیل طیف گسیل متفاوتی از خود نشان می‌دهد.